

权利要求书

1. 一种在正交频分复用(OFDM)接收器中处理 OFDM 信号的方法, 其特征在于, 所述方法包括下列步骤:
 - 5 对接收的 OFDM 信号进行快速付里叶变换(46);
 - 从所述快速付里叶变换的 OFDM 信号中提取(50, 52)一训练码元;
 - 对所述提取的训练码元进行处理(60), 以导出 FFT 窗口调整值和相关的均衡器抽头初始化值; 和
 - 利用所述 FFT 窗口调整值和所述相关的均衡器抽头初始化值来控制(62)一 FFT 窗口的位置和一均衡器抽头的初始化。
2. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述 OFDM 接收器是由无线 LAN 适配器、家庭联网终端、便携式终端和桌上型电脑终端中的一种来实现的。
3. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述窗口调整值代表窗口15 漂移校正值。
 4. 如权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述均衡器抽头初始化值被预补偿, 以抵消窗口漂移校正值对均衡器抽头的影响。
 5. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述处理提取的训练码元的步骤包括下列步骤:
 - 20 从所述提取的训练码元中导出信道响应(54); 和
 - 从所述导出的信道响应中获得所述 FFT 窗口调整值(62)和所述相关的均衡器抽头初始化值(66)。
 6. 如权利要求 5 所述的方法, 其特征在于还包括下列步骤: - 从所述信道响应中滤出(56, 64)附加噪声。
7. 如权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述滤出步骤发生在时域(64)25 中。
8. 如权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述滤出步骤发生在频域(56)中。
9. 如权利要求 5 所述的方法, 其特征在于还包括下列步骤:
 - 30 对所述信道响应进行递归滤波(74), 以逼近信道响应中的一个用于被掩蔽的子载波的值。

10. 一种用于处理正交频分复用(OFDM)信号的系统, 其特征在于, 该系统包括:

一快速付里叶变换(FFT)模块(46), 连接到 OFDM 信号的源(42), 该 FFT 模块(46)对 OFDM 信号施加 FFT 窗口, 以从该 OFDM 信号中除去周期性前缀, 并且对从窗口出来的 OFDM 信号进行快速付里叶变换;

一均衡器模块(72), 连接到所述 FFT 模块, 所述均衡器模块(72)从变换后的 OFDM 信号除去信道失真; 和

一调整模块(60, 62, 66), 连接到所述 FFT 模块(46)和所述均衡器模块(72), 所述调整模块(60, 62, 66)从变换后的 OFDM 信号中提取一训练序列, 并且响应于所提取的训练序列来控制 FFT 窗口的应用和均衡器模块的初始化。

11. 如权利要求 10 所述的系统, 其特征在于, 所述系统是由无线 LAN 适配器、家庭联网终端、便携式终端和桌上型电脑终端中的一种来实现的。

12. 如权利要求 10 所述的系统, 其特征在于, 所述调整模块控制所述均衡器模块(72)的初始化, 以使该均衡器模块(72)的均衡器抽头被预补偿, 以通过所述调整模块来调整所述 FFT 窗口的应用。

13. 如权利要求 10 所述的系统, 其特征在于, 所述调整模块包括:

一训练序列提取单元(50, 52), 连接到所述 FFT 模块(46), 所述训练序列提取单元(50, 52)从所述变换后的 OFDM 信号中提取所述训练序列; 和

一信道响应单元(54), 连接到所述训练序列提取单元, 所述信道响应单元(54)从所述提取的训练序列中导出一信道响应。

14. 如权利要求 13 所述的系统, 其特征在于, 所述调整模块还包括:

一峰值检测单元(60), 连接到所述信道响应单元(54), 所述峰值检测单元(60)检测所述导出的信道响应中的最大峰值;

一 FFT 窗口调整单元(62), 连接到所述峰值检测单元(60)和 FFT 模块(46), 所述 FFT 窗口调整单元(62)响应于所检测出的所述信道响应的最大峰值来调整所述 FFT 窗口的应用; 和

一信道估计调整单元(66), 连接到所述峰值检测单元和所述均衡器模块(72), 所述信道估计调整单元(66)响应于所检测出的所述信道响应的最大峰值来调整所述均衡器模块(72)的均衡器抽头的初始化值。

15. 如权利要求 13 所述的系统, 其特征在于, 所述调整模块还包括:

一降噪滤波器(56, 64), 连接到所述信道响应单元(54), 所述降噪滤波器从所述信道响应中滤出附加噪声。

16. 如权利要求 15 所述的系统, 其特征在于, 所述降噪单元在频域中操作。

5 17. 如权利要求 15 所述的系统, 其特征在于, 所述降噪单元在时域中操作。

18. 如权利要求 15 所述的系统, 其特征在于, 所述降噪单元是一递归滤波器(74), 该递归滤波器(74)用于近似信道响应中的一个用于被掩蔽的子载波的值。

10 19. 一种在正交频分复用(OFDM)接收器中校正快速付里叶变换(FFT)窗口漂移的设备, 其特征在于, 该设备包括:

用于接收(42)OFDM 信号的装置;

用于对所接收的 OFDM 信号施加(44)FFT 窗口的装置;

用于对从窗口出来的 OFDM 信号进行快速付里叶变换(46)的装置;

15 用于对所变换的 OFDM 信号进行均衡(72)的装置;

用于检测(60, 62)在 FFT 窗口的应用过程中的窗口漂移的装置; 和

用于调整(60, 62)所述 FFT 窗口的应用, 以减少所检测的窗口漂移, 并用于调整(66)所述用于均衡的装置的初始化, 以使所述用于均衡的装置被针对所述窗口漂移的减少的影响进行预补偿。

20 20. 如权利要求 19 所述的设备, 其特征在于还包括:

用于减少所述变换后的 OFDM 信号中的噪声的装置(56, 64)。

用于处理正交频分复用信号的方法和系统

5

技术领域

本发明涉及对正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexed, OFDM)信号进行的处理。

10

背景技术

无线 LAN(WLAN)是灵活的数据通信系统, 可以作为建筑物或校园内有
线 LAN 的扩充系统或者作为这种有线 LAN 的替代系统。WLAN 使用电磁
波经空中发送和接收数据, 使得对有线连接的需求减到最小。因此, WLAN
15 将数据连通性和用户移动性相结合, 并允许通过简化的结构形成可移动的
LAN。一些已经通过使用便携式终端(例如, 笔记本电脑)发送和接收实时信
息而从中获得生产力增长这样的益处的工业领域有: 数字家庭网络、卫生健
康领域、零售领域、制造领域和仓储领域。

20

WLAN 的制造商们在设计 WLAN 时有一个供选择的传输技术范围。一
些范例性的技术包括多载波系统、扩频系统、窄带系统和红外线系统。尽管
每个系统有其本身的优点和不足, 但一种特殊类型的多载波传输系统, 即正
交频分复用系统(OFDM), 已被证实对 WLAN 通信特别有用。

25

OFDM 是通过信道有效地传输数据的鲁棒(robust)技术。该技术在一个
发送数据的频道带宽内使用多个子载波频率(子载波)。设置这种子载波是为
了与常规的频分复用(FDM)技术相比优化带宽效率, 因为常规的频分复用
(FDM)技术耗费部分频道带宽以用来分开并隔离子载波频谱并因此避免载波
间干扰(inter-carrier interference, ICI)。相比之下, 尽管 OFDM 子载波的频谱
在 OFDM 频道带宽内大量重叠, 但 OFDM 也允许分辨和恢复已被调制到每
个子载波上的信息。

30

通过信道经 OFDM 信号来传输数据与许多常规传输技术相比还能提供
一些其它优点。这些优点中的一些为: 容许多径延迟扩散和频率选择衰减、

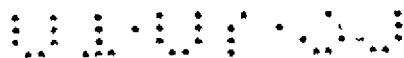
有效的频谱使用率、简化的子载波均衡、和良好的干扰特性。

下面参照图 1, OFDM 信号 10 是作为多个用户数据 12 的块发送的, 这些块通过称为周期性前缀 14 的多个保护间隔来隔开。周期性前缀 14 是用户数据 12 的相邻块的一部分的复制件, 并且用于减少由多径衰减引起的码元间干扰(Inter-Symbol Interference, ISI)。更具体地讲, 仅有与用户数据 12 相对的周期性前缀 14 才受到 ISI 的影响, 正如本领域技术人员所熟知的。因此, 通过 OFDM 接收器除去周期性前缀 14 就从接收的 OFDM 信号中除去了 ISI 的影响。

在 OFDM 接收器中, 将接收的 OFDM 信号 10 数字化或者进行采样, 以将 OFDM 信号从模拟信号转换为数字信号。之后, OFDM 接收器将快速付里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT)窗口施加到 OFDM 信号上, 以从接收的 OFDM 信号中除去周期性前缀。理想情况下, OFDM 窗口 16 仅使用户数据 12 通过 FFT 单元 18, 并且弃掉周期性前缀 14。然而, 如果在 OFDM 发送器和 OFDM 接收器之间存在采样频率偏移, 则 FFT 窗口 16 可能会漂移到用户数据 12 的边界之外。如果发生这种漂移, 如图 2 所示, 周期性前缀 14 的一部分或者说采样值 20 可能会通过 FFT 单元 18, 并且用户数据 12 的一部分或者说采样值 22 会被丢掉。结果, 窗口漂移效应会造成 ISI 存在于接收的 OFDM 信号中。此外, FFT 窗口 16 的偏移会造成 FFT 单元 18 的输出相位旋转。这种旋转的发生是因为时域中的时间移位造成了频域中的相位旋转。这种相位旋转会在 OFDM 接收器所恢复的用户数据中产生差错。本发明所针对的就是对这种问题的纠正。

发明内容

OFDM 接收器从快速付里叶变换的 OFDM 信号中提取训练码元(training symbol), 并且对所提取的训练码元进行处理, 以得出 FFT 窗口调整因数以及相关的均衡器抽头初始化值, 该值用于预补偿以消除 FFT 窗口调整值的影响。OFDM 接收器利用所述 FFT 调整因数和均衡器抽头初始化值来控制 FFT 窗口的位置和均衡器抽头的初始化。OFDM 接收器最好是能过滤快速付里叶变换的 OFDM 信号, 以除去附加的信道噪声并且提高低 SNR 环境中的可靠的均衡器抽头初始化的可能性。



附图说明

附图中：

图 1 是具有用户数据和周期性前缀部分的 OFDM 信号以及相关的处理
5 器的示意图；

图 2 是解释 FFT 窗口漂移的存在的示意图；

图 3 是解释按照本发明在 OFDM 码元帧内放置训练序列、用户数据和
导频信号的示意图；

图 4 和 5 是解释按照本发明用于 OFDM 接收器的窗口移位校正和均衡
10 器抽头初始化配置的框图；

图 6 是用于比较实际信道频率响应幅度与噪声及降噪后的信道估计幅度
的曲线图；

图 7 是用于比较实际信道频率响应相位与噪声及降噪后的信道估计相位
的曲线图；以及

15 图 8 是解释本发明的用于窗口移位校正和均衡器抽头初始化配置的递归
滤波系统的框图。

具体实施方式

20 通过下面以举例方式给出的描述，本发明的特性和优点将变得更明显。

参见图 3，其中示出了本发明的范例性 OFDM 码元帧 30。码元帧 30 包
括含有已知的用于 OFDM 载波中每一个子载波的传输值的训练序列或码元
32、以及预定数目的周期性前缀 34 和用户数据 36 对。例如，所推荐的
ETSI-BRAN HIPERLAN/2(欧洲)和 IEEE 802.11a(美国)无线 LAN 标准(在此
25 将其以参考方式包含在本文中)分配 64 个已知值或者子码元(即，52 个非零
值和 12 个零值)给一个训练序列的被选择的训练码元(例如，所推荐的 ETSI
标准的“训练码元 C”和所推荐的 IEEE 标准的“长 OFDM 训练码元”)。
用户数据 36 具有嵌入在预定子载波上的预定数目的导频值 38，也含有已知
的传输值。例如，所推荐的 ETSI 和 IEEE 标准具有位于仓室(bins)或者子载
30 波中的四个导频值 ± 7 和 ± 21 。

下面参照图 4 和 5，其中示出了本发明的 FFT 窗口同步和均衡器抽头初

始化系统 40。请注意系统 40 可以用软件、硬件或者它们的某些结合来实现。例如，系统 40 可以是 WLAN 适配器的一部分，WLAN 适配器可以作为笔记本型或者掌上型计算机的 PC 卡来实现、作为台式计算机中的卡来实现、或者被集成到手持计算机或者家庭联网终端中。系统 40 连接到 OFDM 时域采样值的源 42(例如，ADC 的输出)，该源 42 相对于 OFDM 发送器的采样频率来说具有频率偏差。如上面所提到的，这种偏差可能造成 FFT 窗口漂移，这样又会造成 FFT 单元的输出相位旋转和 ISI。系统 40 包括连接到源 42 的初始 FFT 窗口设置单元 44 以及经串行至并行转换器 43 连接到源 42 的 FFT 单元 46。当来自源 42 的采样值落入估计的窗口位置时，初始 FFT 窗口设置单元 44 获得 FFT 窗口位置的初始估计值，并且触发 FFT 单元 46。初始 FFT 窗口设置单元 44 可以使用熟知的窗口同步技术，比如为检测已知训练序列(例如，图 3 的训练序列 32)的交叉相关峰值或者自动相关峰值。初始 FFT 窗口设置单元 44 获得窗口位置的大约的(在正确窗口位置的数个采样值之内)初始估计值。之后，窗口位置被精细调节，如下面所进一步详细描述。应注意，由单元 44 所设置的粗略的 FFT 窗口位置最好在从正确的 FFT 窗口设置起的已知采样范围之内。

FFT 单元 46 的输出传递到下游处理单元 48，并且传递到初级频域抽头计算单元 50。下游处理单元 48 包括一均衡器(图 5 中示出)，用于减少 OFDM 信号所传输通过的信道的多径失真效应。

初级频域抽头计算单元 50 利用存储在存储器 52 中的训练码元(例如，在图 3 的训练序列 32 中的训练码元)计算初级频域均衡器抽头值。常规的用于计算每个子载波的抽头值的技术是将子载波的抽头设置成等于已知要发送到子载波上的训练子码元(就象存储在存储器 52 中的那样)，这些训练子码元是以子载波上 FFT 单元 46 输出的实际子码元来划分的。所述初级频域均衡器抽头值传递到频道估计单元 54，该单元 54 对该均衡器抽头值求逆，以形成信道频率响应的估计值。(应注意，用于得到估计的信道频率响应的替代方法是通过将 FFT 单元 46 的输出除以已知的训练码元而直接得出信道估计值)。更精确的信道估计可以通过在多个训练码元范围内平均信道估计值来实现。

所述信道估计值传递到 IFFT 单元 58(直接传递或者经后面将详细描述的可选降噪单元 56 来传递)，该单元 58 用来施加逆快速付里叶变换，从而

使频域信道估计值变换为时域信道估计值。该时域信道估计值传递给峰值检测器 60, 该峰值检测器 60 监视 IFFT 单元 58 的输出, 以找出时域信道估计值幅度中的最大峰值。峰值检测单元 60 将时域信道估计值传递到信道估计值调整单元 66(直接传递或者经后面将详细描述的可选降噪单元 64 来传递)。

5 峰值检测单元 60 还向信道估计值调整单元 66 以及向 FFT 窗口调整单元 62 输出一个信道估计值内的最大峰值的标志。一个比较器电路(未示出)可用于检测该最大峰值。该比较器电路监视信道估计值的采样值幅度, 并输出具有最大幅度的采样值指标。所述最大峰值标志相应于 OFDM 信道的最强路径(即, 具有最强路径的 OFDM 子载波)并且与 FFT 窗口位置相比较。理想情况下, 没有 FFT 窗口偏移, 主峰值的指示与 FFT 窗口的开始对准, 因为 OFDM 接收器被编程为锁定到从最强路径起的 OFDM 信号。然而, 当 FFT 窗口偏移出现时, 在 FFT 窗口的开始和最大峰值的标志之间会有多个时域采样值。这样, FFT 窗口调整单元 62 就能够通过计数峰值指标和 FFT 窗口开始之间的采样值数目来导出窗口偏移。之后, FFT 窗口调整单元 62 对 FFT 46 的窗

10 口设置进行精细调整, 以除去窗口偏移。为减少定位信道估计峰值所需要的时间和/或硬件, 搜索可以限于信道估计采样值的子集。例如, 已知信道估计值处在时域估计采样值的一个子集内, 因为如前面所讨论的, 初始 FFT 窗口设置单元 44 在从正确的 FFT 窗口设置起的已知范围内设置初始 FFT 窗口。

20 对 FFT 窗口的调整会引起 FFT 46 的输出的相位偏移。如上面所讨论的, FFT 46 的输出被传递给包括下游均衡器 72 的下游处理单元 48。如果由 FFT 窗口的调整所产生的相位偏移在初始化均衡器 72 的均衡器抽头时没有被补偿, 则均衡器 72 会在从 FFT 46 接收的 OFDM 数据相位中观察到离散的相位跳跃。该相位跳跃会造成不太理想(sub-optimal)的均衡器特性, 因为均衡

25 器 72 会试图补偿信道效应。信道估计值调整单元 66 对相位跳跃进行预补偿。更具体地讲, 信道估计值调整单元 66 利用从峰值检测器 60 接收的最大峰值指标而在时域中循环移位信道估计值, 以除去表示不正确的 FFT 窗口位置的时间移位。换言之, 信道估计值在时域中移位, 以使从该信道估计值导出的均衡器抽头被对于离散相位跳跃进行预补偿, 该离散相位跳跃在 FFT 46

30 的窗口被精细调整后发生在 FFT 46 的频域输出中。

预补偿的信道估计值传递到 FFT 68(直接传递或者经后面将详细描述的

可选降噪单元 64 来传递), FFT 68 对预补偿的信道估计值施加快速付里叶变换。FFT 的应用将预补偿的时域信道估计值变换为预补偿的频域信道估计值。该预补偿的频域信道估计值传递给信道估计值反相器 70, 以使该预补偿的频域信道估计值反向从而形成预补偿的均衡器抽头初始化值。如上面所讨论的, 预补偿的均衡器抽头初始化值被用于相位旋转进行预补偿, 该相位旋转将在 FFT 窗口的精细调节之后发生在从 FFT 46 输出的快速付里叶变换的 OFDM 信号中。预补偿的均衡器抽头初始化值传递给下游均衡器 72, 以协助对其进行初始化。

如以上所讨论的, 信道估计值可以通过本发明的降噪单元或滤波器 56(在频域中)或者通过降噪单元或滤波器 64(在时域中)来传递。降噪单元 56 和 64 减少包含在信道估计值中的附加噪声。更具体地讲, 在符合所推荐的 ETSI 或者 IEEE 标准的系统中, 用于初始化频域均衡器的训练码元可以由 X 表示, 并且信道的频率响应可以由 C 来表示。那么, 接收信号为 $Y=C*X+N$, 其中 N 为附加信道噪声。常规的 OFDM 接收器将信道响应估计值 C' 设置成等于 Y/X , 并且计算初始化均衡器抽头为 $1/C'$ 或者 X/Y 。结果, 常规的 OFDM 接收器不对附加噪声的存在进行补偿。然而, 在信噪比(SNR)太低的传输环境中, 为了获得可靠的均衡器初始化而不用补偿附加噪声, 则使用本发明的降噪单元 56 或者降噪单元 64 来增强可靠均衡器初始化的似然性。

降噪单元 56 通过对信道估计值执行低阶多项式匹配(fit)来减少包含在频域信道估计值中的附加信道噪声, 从而获得噪声信道估计值的最低平方匹配值。获得噪声信道估计值的最低平方匹配值相当于使噪声最终得到“平均”。多项式的阶数基于通过分析信道模型的集合而凭经验确定的典型信道的级别(order), 从而可以计算该多项式阶数的上限估计值。低阶多项式匹配值大约为实际的信道响应, 该信道响应在频率上缓慢变化并且不跟随在频率上快速变化的噪声。

降噪单元 64 通过使以主信道抽头为中心在其预定范围之外的任何抽头都归零(zeroing out)来减小包含在时域信道估计值中的信道噪声。该预定范围相当于用在降噪单元 56 的低阶多项式匹配值中的估计的多项式阶数。使预定范围之外的抽头归零就能保留信道响应的有效抽头, 同时丢掉与信道响应估计值的频率上快速变化的噪声分量最相关的低功率的不可靠的抽头。在噪声环境中采用降噪单元 56 或者降噪单元 64 会导致与无噪声环境中

的实际信道频率响应非常接近的信道估计值，如图 6 和 7 所示。

现在参照图 8，其中示出了递归降噪系统 74。当可将附加时间用于降噪时(例如，在 WLAN 接收器或者家庭联网终端的初始化期间)，可采用系统 74。系统 74 包括上面所述的信道估计单元 54、IFFT 单元 58、峰值检测单元 60 和降噪单元 64 以及在反馈环路中处于降噪单元 64 和信道估计单元 54 之间的 FFT 单元 76 和信道估计值修正器 78。在操作过程中，如上面所讨论的，信道估计单元 54 形成信道频率响应的估计值。应当注意，信道估计值仅代表携带训练序列的子载波的一个子集。更具体地讲，在所推荐的 ETSI 和 IEEE 标准中，在训练序列的 64 个子载波中仅有 52 个子载波具有非零值，其它的 12 个子载波具有零值。因此，当信道估计单元 54 形成信道频率响应的估计值时，信道估计单元 54 将所述 12 个子载波的值设置为缺省值(例如为零)。该缺省值掩蔽了 12 个子载波的信道估计的实际值。系统 74 用于逼近信道估计值的掩蔽值，如下面所进一步详细讨论的。

信道估计值传递到施加逆快速付里叶变换的 IFFT 单元 58，以使频域信道估计值被变换为时域信道估计值。该时域信道估计值传递到峰值检测器 60，该峰值检测器 60 监视 IFFT 单元 58 的输出，以找出时域信道估计值幅度中的最大峰值。峰值检测单元 60 将时域信道估计值经降噪单元 64 传递到信道估计值调整单元 66。峰值检测单元 60 还向信道估计值调整单元 66 以及向 FFT 窗口调整单元 62 输出一个在信道估计值范围内的最大峰值的指标。

如上面所讨论的，降噪单元 64 通过使以主信道抽头为中心在其预定范围之外的任何抽头都归零(zeroing out)来减小包含在时域信道估计值中的信道噪声。在系统 74 中，在信道估计值被馈送回信道估计单元 54 预定次数之后，降噪单元 64 将时域信道估计值传递给信道估计值调整单元 66。更具体地讲，时域信道估计值被传递到 FFT 单元 76，该单元 76 将时域信道估计值变换为频域信道估计值。之后，该频域信道估计值被传递到信道估计值修正器 78，该修正器 78 对从信道估计器 54 输出的信道估计值进行修正。更具体地讲，信道估计值修正器 78 将从信道估计器 54 输出的掩蔽的子载波设置为等于从 FFT 单元 76 输出的相应子载波的值。信道估计值修正器 78 还将信道估计的非零子载波(即，非掩蔽的子载波)设置为等于由信道估计器 54 最初提供的值。在递归反馈发生预定次数之后，降噪单元 64 将递归滤波的信道估计值

传递到信道估计值调整单元 66，该单元 66 对该信道估计值进行进一步的处理(现在包括对于掩蔽子载波的逼近处理)，如上面所讨论的。

- 5 因此，按照本发明的原理，OFDM 接收器从快速付里叶变换的 OFDM 信号中提取一训练码元，并且对提取的训练码元进行处理，以导出 FFT 窗口调整因数和相关的均衡器抽头初始化值。OFDM 接收器利用所述 FFT 调整因数和均衡器抽头初始化值来控制 FFT 窗口的位置和均衡器抽头的初始化。OFDM 接收器最好是能过滤快速付里叶变换的 OFDM 信号，以除去附加的信道噪声并且提高低 SNR 环境中的可靠的均衡器抽头初始化的可能性。

说明书附图

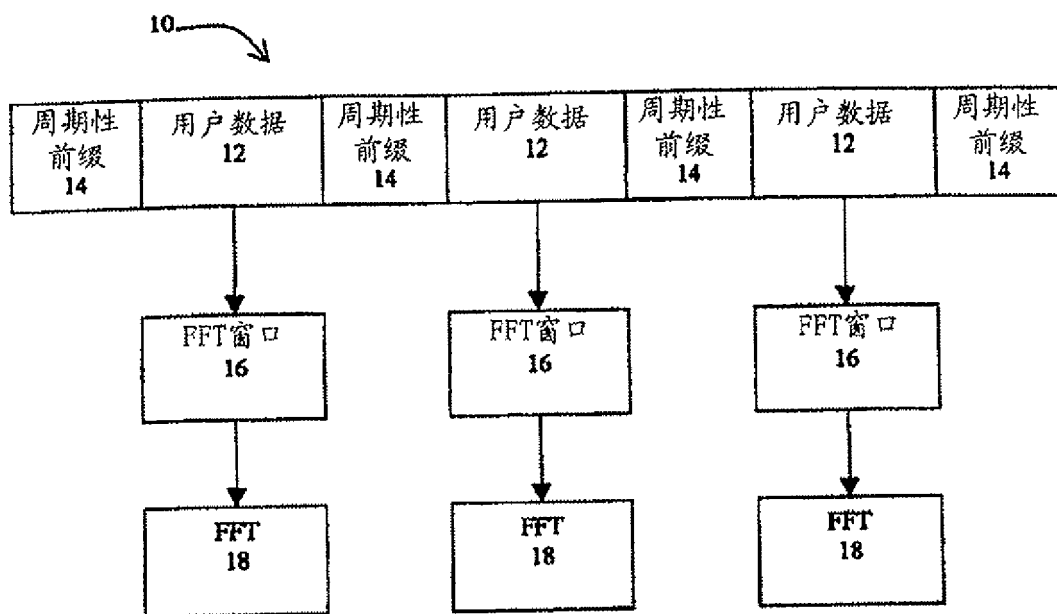


图 1

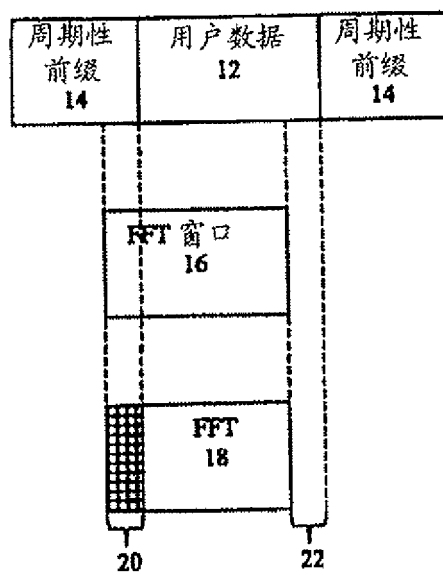


图 2

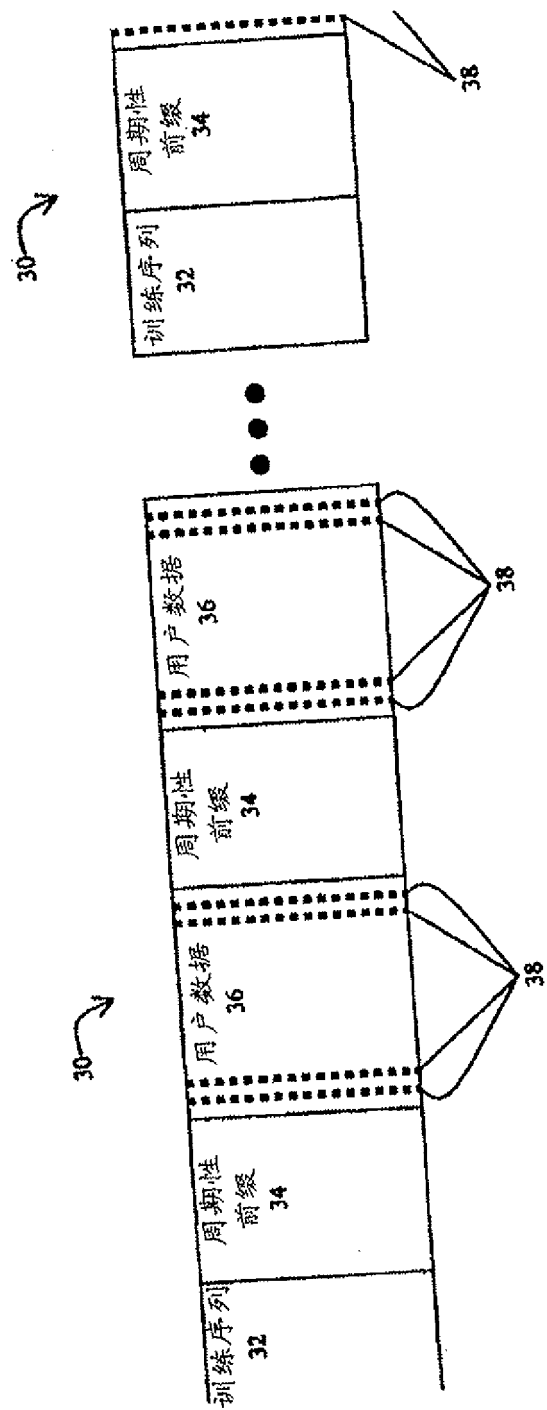


图 3

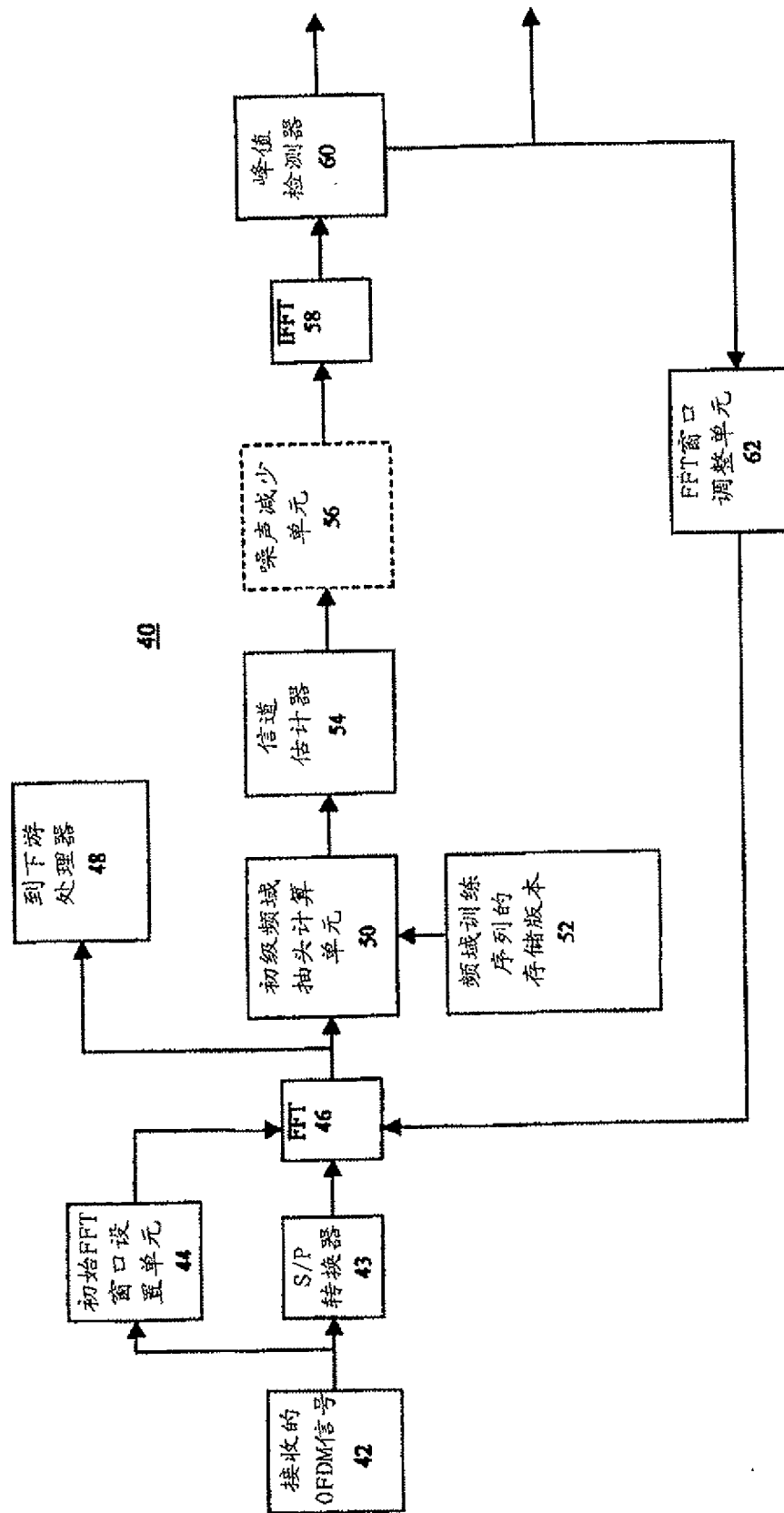


图 4

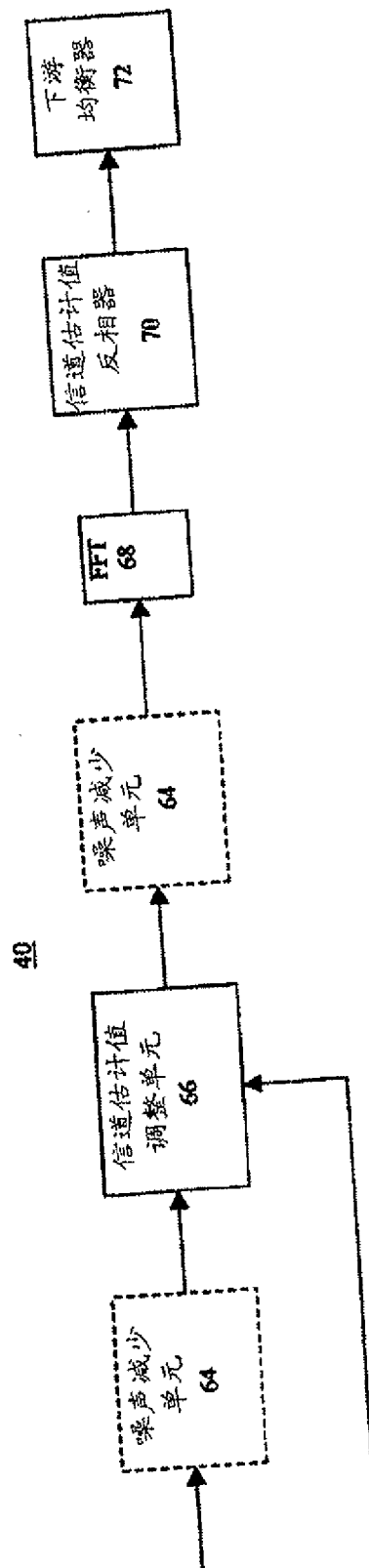


图 5

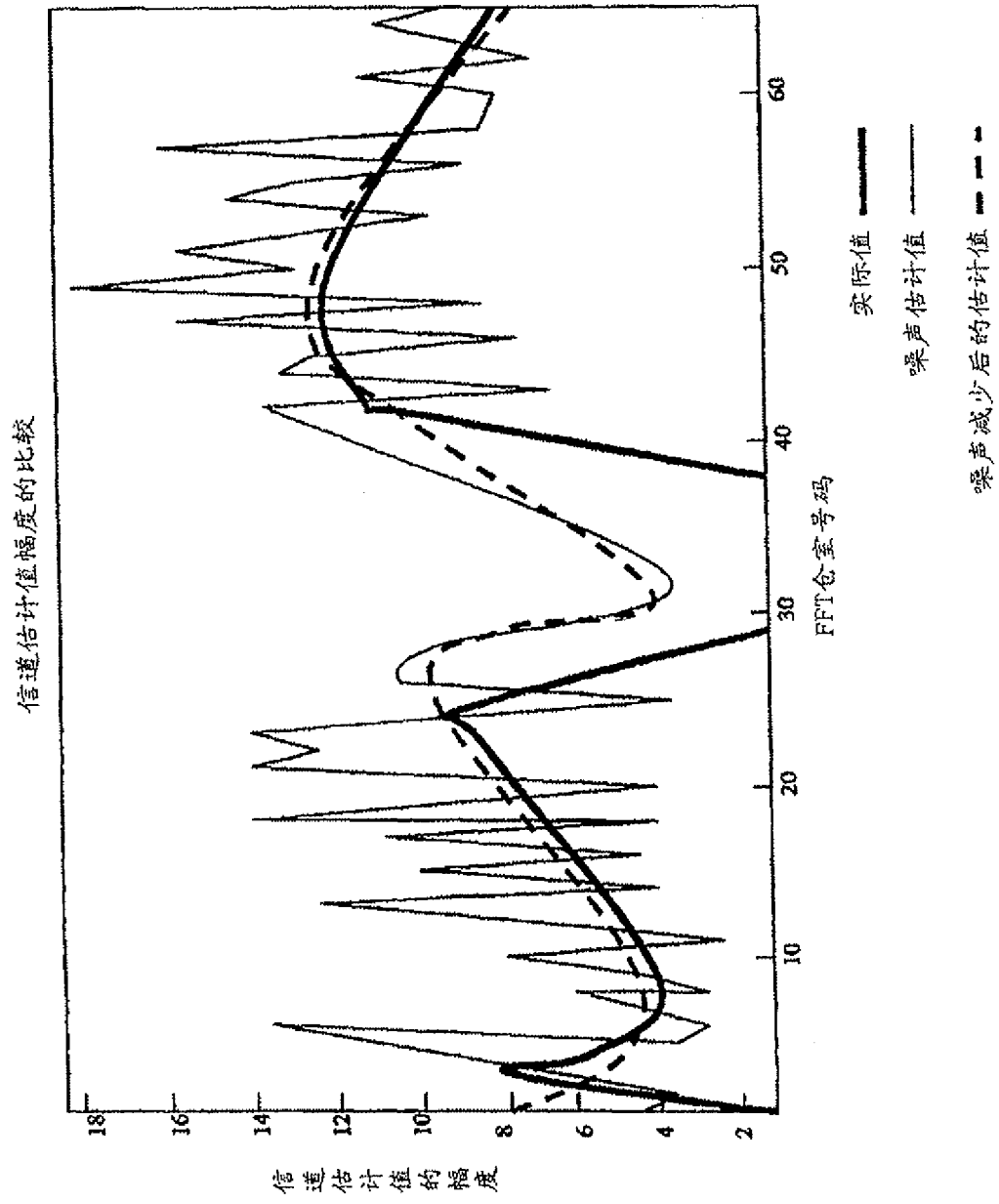


图 6

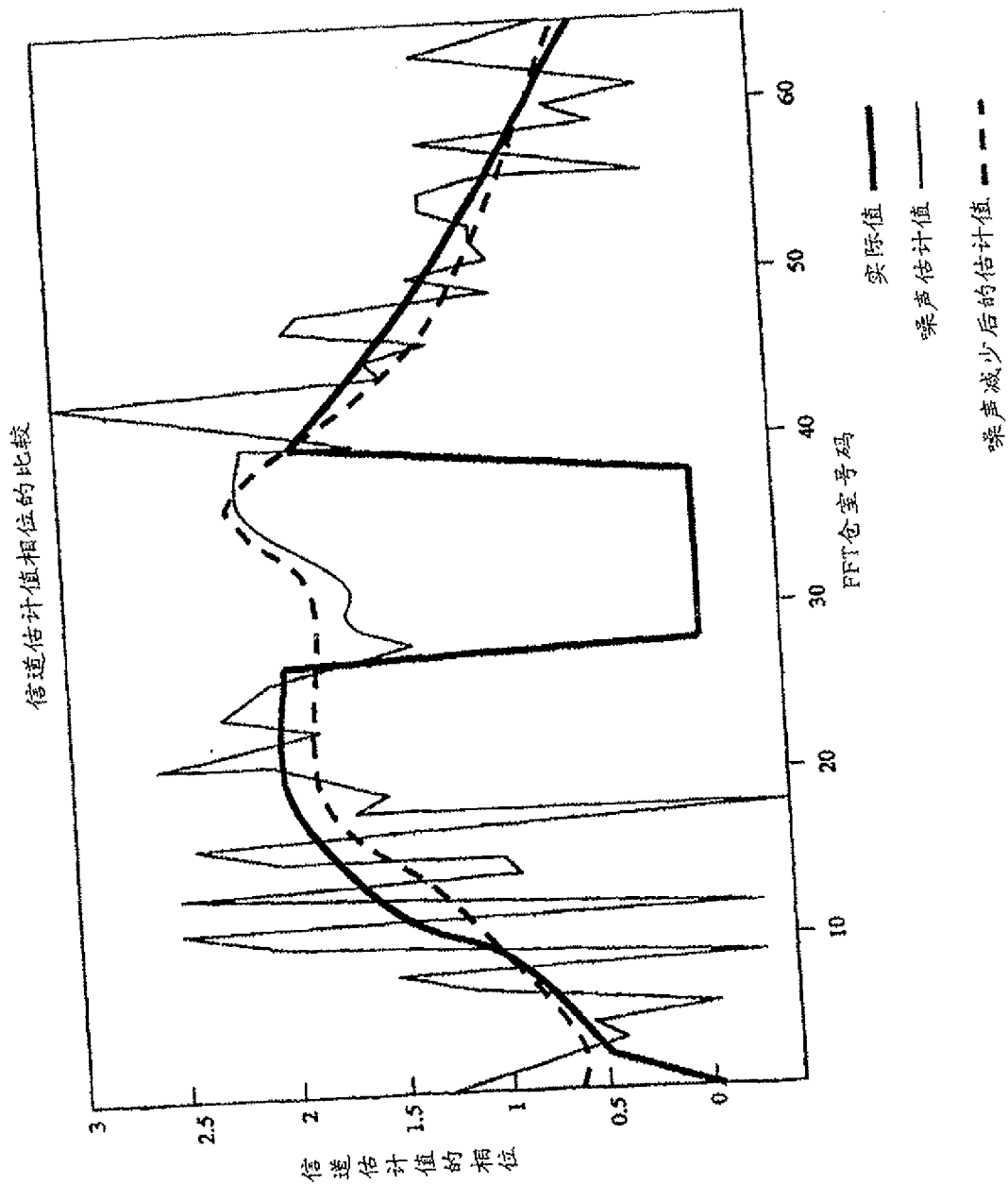


图 7

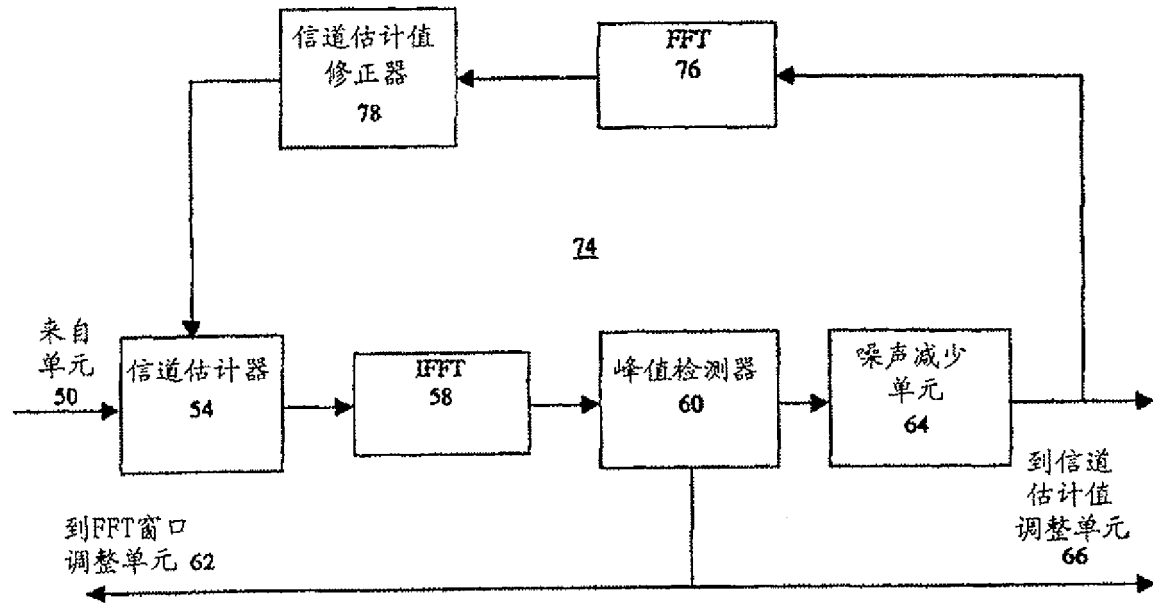


图 8

